

文章编号:0451-0712(2006)12-0171-05

中图分类号:U414.18

文献标识码:A

粉煤灰与聚丙烯纤维复合道路 高性能混凝土性能研究

平树江¹, 黄 昊², 申爱琴², 贾 玉²

(1. 山东省滨州市公路管理局 滨州市 256603; 2. 长安大学特殊地区公路工程教育部重点实验室 西安市 710064)

摘 要: 与普通道路混凝土相比,道路高性能混凝土对原材料的要求更为严格,配合比设计也有其特殊要求。掺加粉煤灰和聚丙烯纤维的道路高性能混凝土虽不能大幅度提高强度,但可显著改善路面的路用性能,试验结果表明其磨耗量可降低 60% 以上,疲劳寿命可提高 2 倍以上。

关键词: 道路高性能混凝土; 粉煤灰; 聚丙烯纤维; 原材料; 配合比; 路用性能

道路混凝土实用性能决定其工作环境要比其他一些混凝土建筑物更为复杂,随着当今重载、超载车辆的急剧增加,混凝土路面损坏日益加剧,除力学性能要满足设计要求外,其耐久性问题日益突出,研制开发新型的混凝土路面材料刻不容缓。道路高性能混凝土(High-Performance Road Concrete, 简写 HPRC)不仅具有优异的物理力学性能和耐久性,而且还具有良好的工作性。因此,采用道路高性能混凝土来修建或更新修补高速公路等的混凝土路面,具

有重大技术、经济意义。

高性能混凝土概念的提出至今也只有 10 多年的时间,它是伴随着高强混凝土而问世的。1993 年美国混凝土协会定义高性能混凝土是这样一类混凝土,它需要满足特定性能和匀质性要求,其“高性能”包括:易浇捣而不离析、长期力学性能良好、强度高、异常坚硬、高体积稳定性或在严酷环境中使用寿命长。各国对高性能混凝土的要求有所不同,但新拌混凝土的工作性、硬化混凝土的强度和耐久性,这三

收稿日期:2006-06-01

能互补效果。

4 结论

本文针对 4 种不同石料配制的 8 种 SMA 沥青混合料,从混合料抗高温稳定性的角度,采用规范车辙和 RLWT 试验方法,进行了对比试验研究。结果表明,辉绿岩、玄武岩以及由其粗集料构成的 SMA-13 沥青混合料,抗车辙性能更好,这其中又以纯辉绿岩、玄武岩石料混合料结果最好。花岗岩粗集料方案也能够获得理想的抵抗行车荷载作用的能力,但抵抗车载和水的耦合作用能力较差。虽然石灰岩的粘附性非常好,但强度较差会造成混合料内部颗粒破碎,纯石灰岩方案较难适应重载交通要求。显然,若要推广花岗岩粗集料方案 SMA 沥青混合料的应用,有必要进一步开展其抗水损害方面的研究。

参考文献:

- [1] 沈金安. 改性沥青与 SMA 路面[M]. 北京:人民交通出版社, 1999.
- [2] 申爱琴,等. 高速公路 SMA 混合料高温稳定性及影响因素[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2006, (1).
- [3] 张肖宁,王绍怀,等. 广州市北环高速公路加铺层试验段研究[J]. 中外公路, 2002, (2).
- [4] 刘朝晖,等. 维修罩面工程 SMA 配合比设计[J]. 公路, 2006, (1).
- [5] 沈金安. 沥青及沥青混合料的路用性能[M]. 北京:人民交通出版社, 2001.
- [6] 徐伟,张肖宁,等. 应用 RLWT 车辙仪评价沥青路面抗车辙性能[J]. 公路交通科技, 2005, (1).
- [7] Powell R B. Laboratory Performance Testing for The Ncat Pavement Test Track[J]. Washington, D. C. : In Transportation Research Record 2003 - 002331, TRB, National Research Council, 2003, (10).

项指标是高性能混凝土的基本要素。

道路高性能混凝土的重要特征是具有高抗弯拉强度和耐久性。当前道路混凝土设计计算抗弯拉强度一般为 4.5 MPa, 相应 28 d 平均抗弯拉强度为 5.02 MPa, 抗压强度约为 40 MPa, 属于中等强度。道路高性能混凝土抗弯拉强度高达 6.0 ~ 11.0 MPa, 相应抗压强度约为 55 ~ 95 MPa。所以使用道路高性能混凝土可以显著提高路面的承载能力, 延长使用寿命或减薄路面的厚度以降低工程造价。

1 道路高性能混凝土原材料要求

道路高性能混凝土的配置过程对所用原材料的技术要求较普通混凝土严格得多, 对水泥、粗细骨料、水和各种减水剂的质量和性质都有特别的限定。

1.1 水泥

水泥是路面混凝土中最重要的胶凝材料, 其质量直接影响到混凝土路面的使用性能, 水泥石与骨料的粘结强度是水泥混凝土强度的主要影响因素。因此, 配置道路高性能混凝土应采用矿物组成合理、细度合格的高标号水泥, 一般均使用 42.5(R) 或更高标号的硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥, 同时要求水泥具有较高的 C_3S 含量和细度的特性。可以通过对各种水泥的试配, 来确定制备道路高性能混凝土所用水泥的种类和数量; 在满足既定抗弯拉强度、抗压强度和新拌混凝土工作性质的前提下, 以经济适用作为选用水泥的依据。

1.2 粉煤灰

在水泥混凝土中掺入粉煤灰, 可以节约资源。20 世纪末, 我国专家通过对粉煤灰应用的基础性研究, 发现掺加粉煤灰, 特别是优质粉煤灰, 可以提高混凝土的综合性能。阻止氯离子渗透和扩散, 有利于防止钢筋腐蚀, 并消除或缓和被视为混凝土癌症的碱集料反应所引起的危害; 此外掺入粉煤灰可降低水化热, 资料表明掺入相当于水泥用量 15%、30% 和 45% 的粉煤灰, 水化热分别降低 17%、30% 和 45%。

1.3 粗骨料

粗集料是水泥混凝土的重要组成部分, 是影响混凝土强度的重要因素, 粗集料对水泥混凝土强度的影响取决于粗集料的表面特征、级配、矿物成分、母岩种类和强度等特征。

粗集料的粒径、料形和表面结构通过影响粗集料与砂浆的界面粘结强度而影响水泥混凝土的强

度。在一定条件下, 增加粗集料的最大粒径, 会导致水泥混凝土强度有所降低, 水灰比越小影响越显著, 其原因是粗集料的粒径增大, 形成含较多微裂缝的弱过渡区, 导致水泥混凝土强度下降, 因此配制道路高性能混凝土所用粗骨料的粒径通常不超过 31.5 mm(C60) 或 25 mm(C80)。配制道路高性能混凝土, 宜采用立方形的碎石, 而不用天然的砾石, 同时要求针片状含量不宜超过 5%, 并应控制其表面粉尘含量。

水泥混凝土的强度, 受粗集料强度的影响较大。当水泥混凝土受荷载后, 在集料与砂浆的界面粘结强度有保障时, 粗集料颗粒所受的应力要比砂浆大, 如果粗集料强度不高, 水泥混凝土可能因集料的破坏而破坏。对于路用高性能水泥混凝土, 骨料母材的抗压强度应比所配制的混凝土强度高 20% 以上。

1.4 细骨料

细集料在水泥混凝土中, 除起填充作用外, 还对粗集料与水泥的界面起粘结作用, 而且对水泥混凝土的耐磨性具有举足轻重的作用。提高路面抗滑能力的工艺措施, 如压槽、拉槽和刻槽等都要在砂浆层形成沟槽, 如果细集料与水泥胶结性差, 路面的抗滑性也会大大降低。因此, 细骨料应选用洁净、坚硬和级配良好的河砂。

细集料不仅要质地坚硬、耐久、洁净且应符合规范级配的要求。细集料的细度模数对混凝土性能有一定影响, 细度模数变化可影响混凝土的强度变化, 且水灰比越小细度模数影响越明显。因为混凝土拌和物含砂量较大, 为了避免混凝土过于干硬, 通常采用的细度模数不宜小于 2.3, 当细度模数在 3.0 附近时, 混凝土工作性最好^[2]。

1.5 减水剂

减水剂是在混凝土坍落度基本相同的条件下, 能减少拌和用水的外加剂。减水剂作为一种表面活性物质, 可以改善混凝土的和易性, 或者可以用来减少混凝土的拌和用水量, 从而提高混凝土的强度和耐久性, 改善混凝土的其他物理力学性能。混凝土中减水剂的主要作用为以下几点。

(1) 改善混凝土的和易性。保持混凝土的用水量不变, 掺加减水剂后可以改善混凝土的和易性, 塑性混凝土坍落度可增大 5 ~ 15 cm, 但随着时间的推移, 掺减水剂混凝土的坍落度会明显损失。

(2) 提高混凝土强度。在保持和易性不变的情况下, 在混凝土中掺入 0.2% ~ 0.5% 的普通减水剂可

以减水 8%~20%,提高强度 10%~30%。

(3)提高耐久性。混凝土中掺入减水剂后,由于减水增加强度作用,使水泥混凝土的耐久性特别是抗冻性明显提高。

(4)防止因混凝土内外温差引起的裂缝。大多数减水剂可以推迟水泥水化热峰值出现的时间,减小混凝土内外温差。

我国目前常用减水剂有木质素系减水剂、萘系减水剂、水溶性树脂类减水剂和糖蜜类减水剂、腐殖酸盐减水剂等,可根据试验结果具体情况选用。

2 道路高性能混凝土的设计方法

2.1 配合比设计的一般原则

(1)水灰比宜小于 0.35。对 80~100 MPa 的混凝土,水灰比小于 0.30;对 100 MPa 以上的混凝土,水灰比宜小于 0.26;更高强度时取 0.22 左右。

(2)水泥用量一般为 400~450 kg/m³,而 80 MPa 的混凝土可为 500 kg/m³,更高强度时也不宜超过 550 kg/m³,应该通过外加矿物混合料来控制 and 降低水泥用量。高性能混凝土必须采用优质水泥。

(3)骨料应挑选强度高、吸水率低的碎石,最大粒径不超过 15~20 mm,如混凝土强度等级不是很高可以放宽到 25 mm。尽量排除片状和针状石子。

(4)砂率可为 0.3 甚至更低。但过低砂率会影响工作度,所以一般可取 0.3~0.35。

(5)当水灰比很低时,为改善工作度,宜外加高效减水剂。

(6)掺加粉煤灰时,要采用超量取代法计算粉煤灰高性能混凝土配合比。

2.2 道路高性能混凝土配合比设计的一般步骤

道路高性能混凝土配合比设计的主要步骤可概括为:原材料的选择、水灰比的确定、用水量的选择、水泥用量的计算、砂率的选择、砂石用量的计算、初步配合比确定、初配和调整、最终确定混凝土各种成分的最佳组合。

3 粉煤灰与聚丙烯纤维复合道路高性能混凝土的性能试验

3.1 试验材料与配合比

试验用的水泥为 42.5(R)普通硅酸盐水泥,砂为中砂,粗集料为碎石,聚丙烯纤维和粉煤灰的性能见表 1 和表 2。

表 1 聚丙烯纤维的物理性能

抗拉强度 MPa	长度 mm	弹性模量 MPa	直径 μm	比重 g/cm ³
620~758	54	>3 500	>100	0.91

表 2 粉煤灰主要性能指标

试验项目	45 μm 方孔筛余/%	烧失量/%	含水量/%
试验结果	≤16.4	≤6.4	≤0.6

试验选用的配合比为水泥:粉煤灰:水:砂:大石:小石:减水剂=324:54:144:627:881:377:3.24(kg/m³),聚丙烯纤维的掺量分别为 0.9 kg/m³、1.3 kg/m³、1.8 kg/m³,其中基准混凝土不掺入粉煤灰和纤维。

3.2 力学性能试验

采用 3 种不同聚丙烯纤维掺量进行弯拉强度和抗压强度试验,试验结果见表 3 和图 1。

表 3 粉煤灰聚丙烯纤维复合道路混凝土的强度

编号	纤维掺量 kg/m ³	28 d 弯拉强度 MPa	28 d 抗压强度 MPa
0	0	5.68	52.4
1	0.9	5.78	53.5
2	1.3	5.79	53.4
3	1.8	6.11	55.3

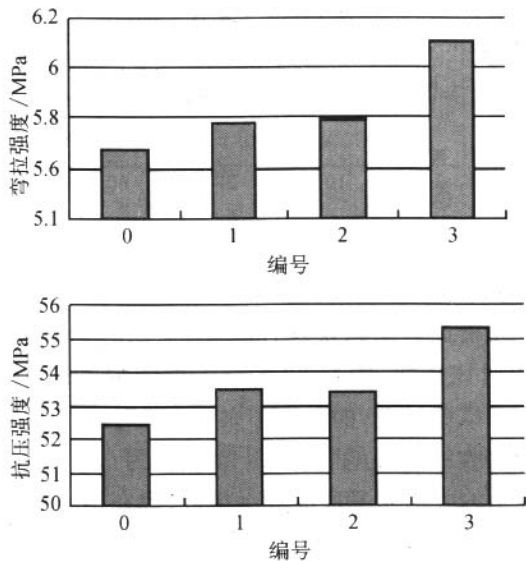


图 1 强度试验结果

可以看出,粉煤灰和聚丙烯纤维的掺入对混凝土弯拉强度有一定程度的影响,在一定范围内混凝土的弯拉强度随纤维掺量的增加而增强。混凝土中掺入 1.8 kg/m³ 的聚丙烯纤维后,混凝土弯拉强度

提高了 7.5%。而掺加量为 0.9 kg/m³ 和 1.3 kg/m³ 时,混凝土弯拉强度提高的幅度不大,仅分别为 1.8%和 2%。抗压强度也有所提高,纤维掺量为 0.9 kg/m³、1.3 kg/m³、1.8 kg/m³ 时混凝土抗压强度分别提高 2.1%、1.9%及 5.5%,与弯拉强度提高的幅度略有差别。总体而言,强度的增长不是太大。

3.3 干缩性

由于道路混凝土直接暴露在大气中,经受着冻融循环、干湿交替等复杂多变环境条件的考验,混凝土长期性能也因此成为评价其使用品质的重要指标,其中干缩性就是评价指标之一。对普通混凝土(编号 0)、纤维掺量分别为 0.9 kg/m³(编号 1)和 1.8 kg/m³(编号 3)的 3 种混凝土测定了其干缩量,试验结果见表 4 和图 2。

表 4 混凝土不同龄期干燥收缩量

编号	下列时间(d)混凝土的干燥收缩量/10 ⁻³ mm								
	3	7	10	14	28	40	60	90	120
0	4.5	31	46	57	73	89	93	95	96
1	4.5	28	41	53	68	85	91	90	91
3	3.5	20	38.5	47	58	68.5	87	89	89

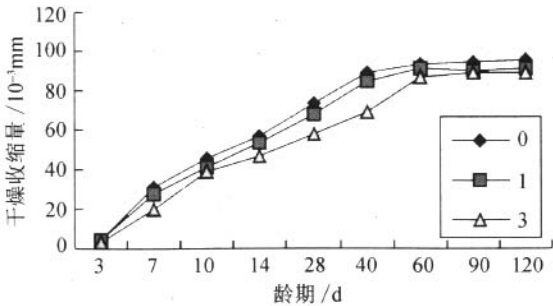


图 2 不同龄期的干燥收缩量

分析试验结果发现:混凝土早期的干燥收缩增长相对比较快,而在 60 d 后干燥收缩基本趋于稳定。在试验早期,如龄期不大于 7 d 时,纤维的掺量对干燥收缩量影响很大,纤维掺量为 0.9 kg/m³ 的混凝土的收缩与基准混凝土接近。但在试验后期,即龄期大于 90 d 以后,纤维掺量为 0.9 kg/m³ 和 1.8 kg/m³ 的两种混凝土的干燥收缩量相差很小。总体而言,纤维掺量为 0.9 kg/m³ 的混凝土的干燥收缩介于基准混凝土和纤维掺量为 1.8 kg/m³ 的混凝土之间,且掺加纤维后混凝土的干燥收缩量小于普通混凝土。

3.4 耐磨性能

耐磨性能是纤维增强复合材料研究的一个重要方面,主要集中于抗磨性能与复合材料参数之间的关系以及磨损机理的研究,但对于纤维增强道路水泥基复合材料,耐磨损更是一个很重要的性能指标。对不同纤维掺量的混凝土的耐磨试验结果见表 5 和图 3。

表 5 混凝土耐磨试验结果

编号	磨耗前质量 g	磨耗后质量 g	损失量 g	损失率 g	磨耗率 kg/m ²
0	3 272.8	3 078.4	194.4	5.94	15.553
1	3 389.4	3 318.9	70.5	2.08	5.640
2	3 269.7	3 220.0	49.7	1.52	3.972
3	2 921.1	2 887.8	33.3	1.14	2.665

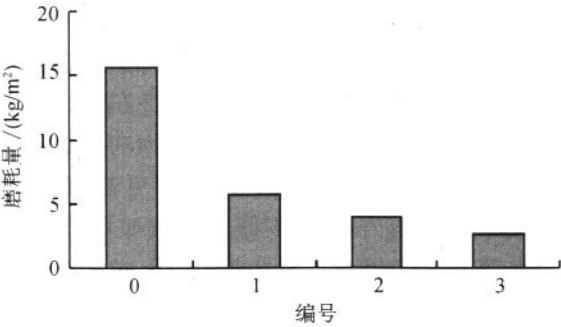


图 3 纤维掺量对磨耗量的影响

由试验结果可以看出,在混凝土中添加聚丙烯纤维,能较好地改善其抗磨性能,而且磨耗量随着纤维掺量的增加而减小。与基准混凝土相比,纤维掺量为 0.9 kg/m³、1.3 kg/m³、1.8 kg/m³ 时磨耗量分别减小了 63.7%、74.5%和 82.9%,改善效果明显。

3.5 疲劳性能

疲劳性能关系到道路水泥混凝土的使用寿命,是道路混凝土的一个重要指标。对粉煤灰与聚丙烯纤维复合高性能道路混凝土进行疲劳试验,试验结果见表 6 和图 4。

表 6 疲劳试验结果

编号	0			1			3		
	0.7	0.8	0.9	0.7	0.8	0.9	0.7	0.8	0.9
疲劳循环次数	53 622	512	65	129 503	1 064	429	151 492	4 662	1 080

由图 4 可见,纤维对混凝土疲劳性能的改善非常显著。不同纤维掺量对混凝土疲劳性能的改善程度是不同的,总体来说随着纤维量的增加,同应力比

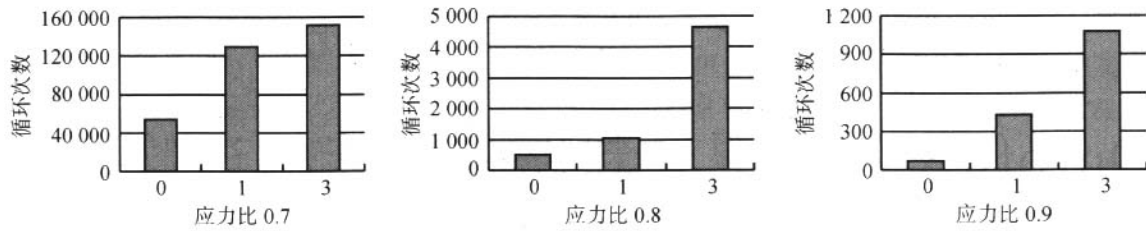


图 4 不同应力比的疲劳寿命

的纤维混凝土疲劳循环次数也相应增加;当应力比为 0.7 时,纤维掺量为 0.9 kg/m³ 和 1.8 kg/m³ 混凝土的循环疲劳次数分别为基准混凝土疲劳循环次数的 2.4 倍、2.8 倍;当应力比为 0.8 时,纤维掺量为 0.9 kg/m³ 和 1.8 kg/m³ 混凝土的疲劳循环次数分别为基准混凝土疲劳次数的 2 倍、9.1 倍;当应力比为 0.9 时,纤维掺量为 0.9 kg/m³ 和 1.8 kg/m³ 混凝土的疲劳循环次数分别为基准混凝土疲劳循环次数的 6.6 倍、16.6 倍。试验结果还表明,应力比越大,纤维对混凝土的改性作用就越明显,这一方面体现了水泥混凝土在接近极限荷载时的脆性,另一方面证实了纤维的加入大大增强了混凝土的韧性和对极限荷载冲击的抵抗能力,这种改变随着纤维掺量的增加,呈增强趋势。

4 结论

道路高性能混凝土具有极其优良的品质,活性掺合料和聚丙烯纤维的掺入虽然对强度和干缩量的改善效果不太明显,都没有超过 10%,但对于道路混

凝土的耐磨性能、疲劳性能等长期耐久性能改善效果显著。其中可以使磨耗量降低 60% 以上,延长疲劳寿命 2 倍以上,并随着疲劳应力比和纤维掺量不断增长,在应力比为 0.9,纤维掺量为 1.8 kg/m³ 时可以达到 16.6 倍。总体来看,道路高性能混凝土可用于建造长寿命低维护的路面,其社会、经济效益是巨大的,值得大力推广和,不断研究,促进我国公路路面工程步入新的发展阶段,以适应日益增长的交通运输量和轴载的需要。

参考文献:

[1] 申爱琴,主编. 水泥与水泥混凝土[M]. 北京:人民交通出版社,2004.
[2] Neville A, Aitcin P C. High Performance Concrete-An Overview [J]. Materials and Structures, 1998, 31, (3).
[3] 管学茂,杨雷,姚燕. 低水灰比高性能混凝土的耐久性研究[J]. 混凝土,2004,(10).
[4] 朱江. 聚丙烯纤维与高强高性能混凝土[J]. 混凝土, 2000,(5).

Research on Performance of Complex High-Performance Road Concrete Mixed with Fly Ash and Polypropylene Fibre

PING Shu-jiang¹, HUANG Hao², SHEN Ai-qin², JIA Yu

(1. Highway Bureau of Binzhou City of Shandong Province, Binzhou 256603, China; 2. Key Laboratory for Highway Engineering of the Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: Compared with normal concrete, high-performance road concrete has more rigorous requirements than raw materials and specific demand on mix design. Though high-performance road concrete mixed with fly ash and polypropylene fibre can not increase strength in wide-range, they can significantly improve the pavement performance. The test results show that abrasion value can depress more than 60% and endurance life can increase more than 2 times.

Key words: high-performance road concrete; fly ash; polypropylene fibre; raw material; mix proportion; road performance